

Научная статья
УДК 664.66
EDN AYZDDD

Разработка метода определения устойчивости хлебобулочных изделий к плесневению

Марина Николаевна Локачук¹, старший научный сотрудник
Научный руководитель – Лина Ивановна Кузнецова²,
доктор технических наук

^{1, 2} Санкт-Петербургский филиал Научно-исследовательского института
хлебопекарной промышленности, Санкт-Петербург, Россия

¹ m.lokachuk@gosnihp.ru

Аннотация. Одним из распространенных видов микробной порчи хлебобулочных изделий, приносящей существенные потери производителям и потребителям, является плесневение. В статье представлена разработка метода для оценки влияния технологии приготовления хлебобулочных изделий на их устойчивость к плесневению. Предложенный метод может быть применен при разработке и внедрении различных способов ингибирования и предотвращения плесневения хлеба, новых технологий хлебобулочных изделий с целью повышения микробиологической безопасности готовой продукции.

Ключевые слова: хлеб, плесневые грибы, плесневение, метод определения устойчивости к плесневению

Для цитирования: Локачук М. Н. Разработка метода определения устойчивости хлебобулочных изделий к плесневению // Актуальные исследования молодых ученых – результаты и перспективы : материалы 2-ой всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (Благовещенск, 12 февраля 2025 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 411–417.

Original article

Development of a method for determining the resistance of bakery products to mold

Marina N. Lokachuk¹, Senior Researcher
Scientific advisor – Lina I. Kuznetsova²,
Doctor of Technical Sciences

^{1, 2} St. Petersburg branch of Scientific Research Institute for the Baking Industry
St. Petersburg, Russia, m.lokachuk@gosnihp.ru

Abstract. One of the most common types of microbial spoilage of bakery products, which causes significant losses to producers and consumers, is mold. The article presents the development of a method for assessing the impact of bakery technology on their resistance to mold. The proposed method can be applied in the development and implementation of various methods for inhibiting and preventing mold formation of bread, new technologies of bakery products in order to increase the microbiological safety of finished products.

Keywords: bread, mold fungi, mold formation, a method for determining resistance to mold

For citation: Lokachuk M. N. Development of a method for determining the resistance of bakery products to mold. Proceedings from Current research by young scientists – results and prospects: *2-aya Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh (12 fevralya 2025 g.)*. (PP. 411–417), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Самым распространенным видом микробной порчи пищевых продуктов является плесневение. Хлебобулочные изделия, особенно реализуемые в упакованном и нарезанном виде, подвержены данному виду порчи. Наиболее важными факторами, контролирующими рост нежелательных плесневых грибов на пищевых продуктах, являются содержание кислорода, температура, водородный показатель и активность воды.

Как правило, хлебобулочные изделия имеют относительно высокое содержание влаги, активность воды составляет от 0,94 до 0,98, значение водородного показателя – 5,5–6,0, что способствует развитию плесневых грибов. Плесневые грибы не выживают в процессе выпечки, однако, продуцируемые ими микотоксины, относительно термостабильны и поэтому представляют серьезную проблему, поскольку являются «невидимыми загрязнителями» хлеба, оказывая мутагенное, тератогенное, нейротоксическое и канцерогенное действия на организм человека [1].

Совместное присутствие различных микотоксинов часто встречается в пищевых продуктах и может приводить к антагонистическим, аддитивным или синергетическим эффектам на здоровье потребителей. В настоящее время

более 400 соединений идентифицированы как микотоксины. Наиболее важными микотоксинами в зерновых продуктах являются афлатоксины, охратоксин А, цитринин, а также токсины *Fusarium* (фумонизин, дезоксиниваленол, зеараленон, токсины Т-2 и НТ-2), токсины *Alternaria* (альтернариол, метиловый эфир альтернариола, тенуазоновая кислота) и алкалоиды спорыньи *Claviceps* [2].

Заражение хлеба плесневыми грибами происходит на стадиях охлаждения, нарезки, упаковки. Степень контаминации хлеба отражает санитарное состояние хлебопекарных предприятий (воздушная среда, поверхности оборудования, транспортные и упаковочные средства, одежда и руки персонала). Плесневение хлеба происходит в результате развития плесневых грибов родов *Penicillium* (*P. roqueforti*, *P. paneum*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum*), *Aspergillus*, *Wallemia*, *Rhizopus*, *Chrysonilia sitophila*, *Mucor*, *Cladosporium*.

Для борьбы с плесневением применяют различные методы: физические, химические, а также, биологические, которые подразумевают применение заквасок в технологии хлебобулочных изделий. Применение заквасок замедляет или полностью предотвращает плесневение хлеба. Однако при определенных условиях заквасочный хлеб также может подвергнуться порче [1, 2]. Фунгицидные соединения, продуцируемые молочнокислыми бактериями в заквасках, включают диацетил, перекись водорода, ацетат, пропионат, капроат, 3-гидроксигирные кислоты, фениллактат, циклические дипептиды, длинноцепочечные ненасыщенные гидроксигирные кислоты, реутерин и фунгицидные пептиды. Фунгицидный эффект заквасочных лактобацилл, как правило, объясняется синергической активностью нескольких соединений [2].

Целью работы являлась разработка метода для оценки технологии приготовления хлебобулочных изделий на их устойчивость к плесневению.

Анализ литературных данных выявил несколько существующих методов. В работе L. A. Ryan с соавторами для определения фунгицидной активности

штаммов молочнокислых бактерий *L. amylovorus* применена методика принудительной контаминации ломтиков хлеба тест-штаммами плесневых грибов. Образцы пшеничного хлеба были испытаны на устойчивость к *A. niger* FST 4.21, *F. culmorum* FST 4.05, *P. expansum* FST 4.22 и *P. roqueforti* FST 4.11. Для этого 100 мкл суспензии, содержащей 10^4 спор грибов, распыляли на обе стороны каждого ломтика хлеба. Затем каждый ломтик упаковывали в пластиковый пакет и запаивали, оставляя небольшую прорезь, в которую вставляли наконечник для обеспечения сопоставимых аэробных условий в каждом пакете. Ломтики хлеба оставляли при комнатной температуре и наблюдали ежедневно в течение 14 дней за ростом плесневых грибов. Ломтик хлеба считался «заболевшим», если более 1 % общей площади поверхности было покрыто плесневыми грибами [3].

В исследованиях F. Dal Bello с соавторами для определения фунгицидной активности лактобацилл *L. plantarum* FST 1.7 на ломтики пшеничного хлеба толщиной 25 мм наносили суспензию спор плесневых грибов с концентрацией 5×10^6 спор/мл путем распыления на одну сторону каждого ломтика (из расчета приблизительно 1 мл на ломтик). Затем каждый ломтик упаковывали в пластиковый пакет и запаивали, оставляя небольшую прорезь, в которую вставляли кончик трансферной пипетки, чтобы обеспечить сопоставимые аэробные условия в каждом пакете. Пакеты инкубировали при комнатной температуре и визуально определяли рост плесневых грибов на протяжении 12 дней [4]. В указанных методиках заражение ломтиков хлеба происходит путем распыления споровой суспензии, что представляет опасность для здоровья персонала, если не принимать особые меры безопасности.

Для исследования эффективности и сравнительного анализа различных методов предотвращения плесневения хлебобулочных изделий на отечественных хлебопекарных предприятиях в НИИ хлебопекарной промышленности

была разработана методика определения плесневения хлеба, которая предусматривала визуальное выявление роста мицелия плесневых грибов на поверхности хлебобулочных изделий. Для этого охлажденный образец хлеба разрезают чистым ножом пополам, а затем целые и разрезанные образцы помещают в прозрачные двойные полиэтиленовые пакеты и ставят в термостат с температурой (24 ± 1) °С. Образцы хлеба просматривают, не вынимая из пакетов, до появления роста видимого мицелия, после чего делают заключение о сроках плесневения хлеба с точностью до суток. Недостатком данного метода является возможность контаминации хлеба из воздушной среды.

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований был разработан метод, позволяющий оценить влияние технологии приготовления хлебобулочных изделий на их устойчивость к плесневению. Данный метод предусматривает принудительную контаминацию стерильных нарезанных ломтиков хлеба тест-штаммом *Penicillium chrysogenum* с последующей инкубацией (выдержкой в термостате) при температуре (25 ± 1) °С.

Хлеб сразу после выхода из печи заворачивали в предварительно простерилизованную бумагу и переносили для остывания в стерильный бокс. Затем с соблюдением правил асептики нарезали на ломтики размером 3,5×6,5 см и толщиной не более 0,4 см, которые помещали в стерильные чашки Петри. Для принудительной контаминации ломтиков хлеба готовили суспензию спор грибов *Penicillium chrysogenum*. Культуру плесневых грибов пересевали в боксе, предварительно продезинфицированном, в пробирку на сусло-агар (8 % СВ), которую затем помещали в термостат с температурой (30 ± 1) °С на 10–14 суток до появления зрелого спороношения. Затем с помощью профламбированной в пламени горелки бактериологической петли споры переносили в пробирку со стерильной дистиллированной водой и тщательно суспендировали с целью разделения комочков спор. Далее проводили фильтрацию, используя стерильную марлю, сложенную в несколько слоев, от комочков мицелия и спор, а

также агара. Для определения концентрации спор применяли камеру Горяева. Суспензию спор с концентрацией 10^6 спор/мл использовали для заражения ломтиков хлеба. Ломтики хлеба инокулировали в трех точках суспензией спор *Penicillium chrysogenum* с помощью бактериологической иглы. Чашки убирали в термостат с температурой (25 ± 1) °C и определяли продолжительность хранения хлеба до появления первых признаков плесневения.

С помощью данного метода было изучено влияние ржаной густой закваски на монокультурах молочнокислых бактерий первого освежения производственного цикла на подавление роста плесневых грибов в хлебе ржаном из обдирной муки. Установлено значительное влияние штаммов лактобацилл на содержание летучих кислот и спирта в хлебе (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние ржаной густой закваски, выведенной на монокультурах лактобацилл, на показатели качества хлеба ржаного из обдирной муки

Показатели	Значения показателей качества хлеба на заквасках, приготовленных с использованием монокультур молочнокислых бактерий и дрожжей <i>S. milleri</i>			
	<i>L. paracasei/</i> <i>L. casei B3</i>	<i>L. brevis</i> <i>B120</i>	<i>L. plantarum</i> <i>B4</i>	<i>L. paracasei/</i> <i>L. casei B32</i>
Влажность, %	50,6	50,0	50,8	50,8
Кислотность, град.	5,4	6,8	5,2	5,2
Пористость, %	74	72	72	71
Удельный объем, см ³ /г	1,77	1,80	1,87	1,80
Содержание летучих кислот, град.	1,20	2,50	0,75	0,90
% к титруемой кислотности	22,2	36,8	14,4	17,3
Содержание спирта, % СВ	1,30	0,64	1,05	1,33
Продолжительность хранения до появления признаков плесневения при принудительном заражении <i>Penicillium chrysogenum</i> , час.	41	не заболел	44	41

При принудительном заражении ломтиков хлеба споровой суспензией *Penicillium chrysogenum* по разработанному методу только один образец хлеба, приготовленный на закваске, выведенной на монокультуре *L. brevis B120*, не заболел в течение 7 суток. В результате проведенных исследований был отобран штамм *L. brevis B120* для выведения густых ржаных заквасок.

Заключение. Разработанный метод может быть применен при исследовании и внедрении различных способов ингибирования и предотвращения плесневения хлеба, новых технологий производства хлебобулочных изделий.

Список источников

1. Garcia M. V., Bernardi A. O., Copetti M. V. The fungal problem in bread production: Insights of causes, consequences, and control methods // *Current Opinion in Food Science*. 2019. No. 29. P. 1–6.
2. Ceresino E. B., Juodeikiene G., Schwenninger S. M., da Rocha J. M. F. Sourdough microbiota and starter cultures for industry. Springer International Publishing, 2024. 495 p.
3. Ryan L. A., Zannini E., Dal Bello F., Pawlowska A., Koehler P., Arendt E. *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 as a novel food-grade antifungal agent for bakery products // *International Journal of Food Microbiology*. 2011. No. 146 (3). P. 276–283.
4. Dal Bello F., Clarke C. I., Ryan L. A. M., Ulmer H., Schober T. J., Ström K., Arendt E. K. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 // *Journal of Cereal Science*. 2007. Vol. 45. No. 3. P. 309–318.

References

1. Garcia M. V., Bernardi A. O., Copetti M. V. The fungal problem in bread production: Insights of causes, consequences, and control methods. *Current Opinion in Food Science*, 2019;29:1–6.
2. Ceresino E. B., Juodeikiene G., Schwenninger S. M., da Rocha J. M. F. Sourdough microbiota and starter cultures for industry, Springer International Publishing, 2024, 495 p.
3. Ryan L. A., Zannini E., Dal Bello F., Pawlowska A., Koehler P., Arendt E. *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 as a novel food-grade antifungal agent for bakery products. *International Journal of Food Microbiology*, 2011;146(3):276–283.
4. Dal Bello F., Clarke C. I., Ryan L. A. M., Ulmer H., Schober T. J., Ström K., Arendt E. K. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. *Journal of Cereal Science*, 2007;45;3:309–318.

© Локачук М. Н., 2025

Статья поступила в редакцию 31.01.2025; одобрена после рецензирования 12.02.2025; принята к публикации 26.02.2025.

The article was submitted 31.01.2025; approved after reviewing 12.02.2025; accepted for publication 26.02.2025.